

Генерация электрических колебаний в контакте АСМ зонда с индивидуальной наночастицей Au в плёнке SiO₂/Si

Д.О. Филатов¹, О.Н. Горшков¹, Д.А. Антонов¹, М.Е. Шенина¹, Д.Ю. Синуткин¹,
А.В. Зенкевич², Ю.А. Матвеев²

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603 950, Нижний Новгород, Россия
dmitry_filatov@inbox.ru

²Московский физико-технический институт, 141 701, Москва, Россия

Сообщается о наблюдении электрических колебаний в колебательном контуре, включённом в цепь контакта АСМ зонда к туннельно-прозрачной (толщиной ~5 нм) плёнке SiO₂/Si с наночастицами (НЧ) Au. Эффект связан с резонансным туннелированием через размерно-квантованные состояния в малых (~1 нм) НЧ Au.

The generation of the electrical oscillations in a contact of an AFM probe with an individual Au nanoparticle in a SiO₂/Si film

D.O. Filatov¹, O.N. Gorshkov¹, D.A. Antonov¹, M.E. Shenina¹, D.Yu. Sinutkin¹,
A.V. Zenkevich², Yu.A. Matveev²

¹Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 60 3950, Nizhni Novgorod, Russia
dmitry_filatov@inbox.ru

²Moscow Institute of Physics and Technology, 141 701, Moscow, Russia

The electrical oscillations in an oscillating loop connected to an AFM probe contact to a tunnel-transparent (~5 nm thick) SiO₂/Si film with Au nanoparticles (NPs) have been observed. The effect was attributed to the resonant tunneling via the quantum confined states in small (~1 nm) Au NPs.

Металлические наночастицы (НЧ), встроенные в диэлектрические плёнки, в последние годы привлекают значительное внимание в связи с потенциальными применениями в устройствах памяти, нанoeлектронике, одноoeлектронике, плазмонике и т. п. [1]. В [2] в вольт-амперных характеристиках (ВАХ) контакта зонда атомносилового микроскопа (АСМ) к туннельно-прозрачным (толщиной ~5 нм) плёнкам SiO₂/Si с НЧ Au были обнаружены участки отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС), связанные с резонансным туннелированием электронов между АСМ зонном и Si подложкой через размерно-квантованные электронные состояния в малых (~1 нм) НЧ Au. Известно, что, комбинируя элемент с ОДС с колебательным контуром, можно получить генератор синусоидальных колебаний. В [3] наблюдались электрические колебания в колебательном контуре, включённом в цепь контакта АСМ зонда к плёнке ZrO₂(Y)/Si с НЧ Au. Тем самым, была продемонстрирована возможность реализации нанoeлектронного прибора – генератора синусоидальных колебаний на базе индивидуальной НЧ Au.

В настоящей работе, экспериментально наблюдались электрические колебания в колебательном контуре, включённом в цепь контакта АСМ зонда к тонкой (~5 нм) плёнке SiO₂/Si с НЧ Au размером ~1 нм, полученной методом импульсного лазерного осаждения [4]. АСМ исследования проводились при 300 К в контактном режиме на сверхвысоковакуумном (СВВ) АСМ Omicron UHV AFM/STM LF1. Использовались зонды NT-MDT NSG-11 DLC с алмазоподобным покрытием. В каждой точке АСМ скана измерялись ВАХ контакта АСМ зонда к поверхности образца. Регистрация электрических колебаний в колебательном контуре, подключенном последовательно в цепь контакта АСМ зонда к образцу, проводилась при помощи цифрового осциллографа Agilent 3000A. Процедура захвата осциллограммы колебаний в момент, когда АСМ зонд приходит в контакт с НЧ Au и напряжение между АСМ зондом и подложкой V_g находится в пределах участка ОДС на ВАХ контакта АСМ зонда к поверхности образца, описана в [3].

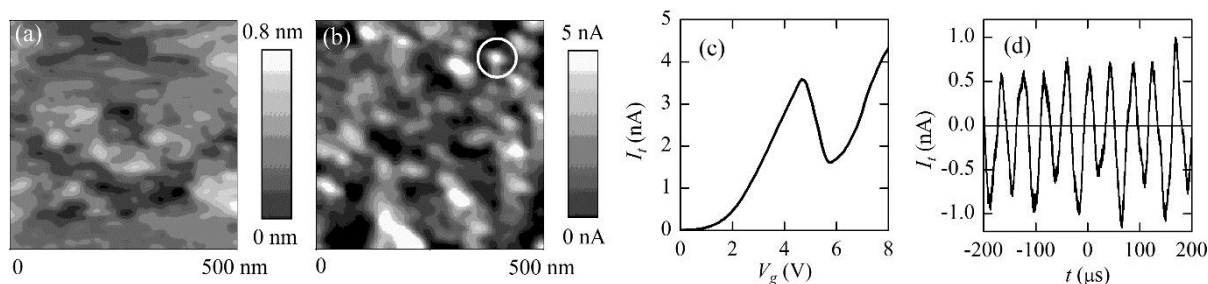


Рисунок 1. АСМ (а) и токовое (б) изображения плёнки SiO_2/Si с НЧ Au (напряжение между АСМ зондом и образцом $V_g = 4,5$ В); ВАХ контакта АСМ зонда к плёнке SiO_2/Si с НЧ Au (с), токовый канал, в котором была измерена ВАХ, обведён кружком на Рисунке 1б; осциллограмма силы электрического тока через АСМ зонд $I_t(t)$ при $V_g = 5,0$ В (d).

На токовых изображениях плёнок SiO_2/Si с НЧ Au (Рис. 1б) наблюдались участки с увеличенными значениями силы тока через АСМ зонд I_t (токовые каналы), связанные с туннелированием электронов между АСМ зондом и Si подложкой через НЧ Au [2]. Отметим отсутствие корреляции между токовым изображением (Рис. 2б) и АСМ изображением поверхности образца (Рис. 2а). Размеры токовых каналов на Рисунке 1б составляют 30 – 100 нм, что значительно превышает латеральные размеры НЧ [4]. В [5] было показано, что размеры токовых изображений НЧ в диэлектрических плёнках определяются, главным образом, размером области контакта АСМ зонда к поверхности плёнки D_p и не зависят от размера НЧ. В свою очередь, оценка D_p по порядку величины соответствует радиусу кривизны острия используемых АСМ зондов $R_p \approx 70$ нм.

На ВАХ контакта АСМ зонда к поверхности плёнки SiO_2/Si с НЧ Au (Рис. 1с), измеренных в токовых каналах малых размеров (один из таких каналов отмечен кружком на Рисунке 1б), наблюдались участки с ОДС, обусловленные резонансным туннелированием электронов между АСМ зондом и подложкой через размерно-квантованные состояния в НЧ Au [2].

На Рисунке 1d приведена осциллограмма силы тока через АСМ зонд $I_t(t)$, записанная при колебательном контуре, включенном в цепь АСМ зонд – образец и значении напряжения между АСМ зондом и образцом $V_g \approx 5$ В (т. е., когда V_g находилось в пределах участка ОДС на ВАХ контакта АСМ зонда к образцу, см. Рис. 1с). Наблюдались почти синусоидальные колебания I_t с частотой, близкой к собственной частоте колебательного контура $f_0 \approx 24,3$ кГц.

Таким образом, сравнение результатов данной работы с результатами [3] показывает, что наблюдаемые в эксперименте электрические колебания в колебательном контуре, включенном в цепь АСМ зонд – образец, обусловлены фундаментальными электронными процессами в НЧ Au (а именно, резонансным туннелированием электронов через размерно-квантованные состояния в НЧ Au нанометровых размеров) и не связаны с электронными процессами в материале плёнок, в которые встроены НЧ Au.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (16.7864.2017/БЧ).

1. P. Rusk, *Metal Nanoparticles: Concepts and Applications* (Willford Press), 8 (2016).
2. D.O. Filatov, M.A. Lapshina, D.A. Antonov, O.N. Gorshkov, A.V. Zenkevich, Yu.Yu. Lebedinskii, *J. Phys.: Conf. Series* **245**, 012018 (2010).
3. O.N. Gorshkov, D. O. Filatov, D.A. Antonov, I.N. Antonov, M.E. Shenina, D.A. Pavlov, *J. Appl. Phys.* **121**, 014308 (2017).
4. A.V. Zenkevich, Yu.Yu. Lebedinskii, A.A. Timofeyev, I.A. Isayev, V.N. Tronin, *Appl. Surf. Sci.* **255**, 5355 (2009).
5. M.A. Lapshina, D.O. Filatov, D.A. Antonov, *J. Surf. Investigations: X-ray, Synchrotron and Neutron Techn.* **2**, 616 (2008).